

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ С
ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

(19) ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
Международное бюро



РСТ

Рес. ПСТ/РТО

519249
22 DEC 2004

(43) Дата международной публикации:
22 января 2004 (22.01.2004)

(10) Номер международной публикации:
WO 2004/008665 A1

(51) Международная патентная классификация⁷:
H04B 10/12, G02B 6/00

(21) Номер международной заявки: РСТ/RU2002/000561

(22) Дата международной подачи:
26 декабря 2002 (26.12.2002)

(25) Язык подачи: русский

(26) Язык публикации: русский

(30) Данные о приоритете:
2002118838 12 июля 2002 (12.06.2002) RU

(71) Заявитель (для всех указанных государств, кроме
(US): НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ВОЛОКОННОЙ
ОПТИКИ ПРИ ИНСТИТУТЕ ОБЩЕЙ
ФИЗИКИ РАН ИМ. ПРОХОРОВА А.М.
[RU/RU]; 119991 Москва, ул. Вавилова, д. 38 (RU)
[NAUCHY TSENTR VOLOKONNOI OPTIKI PRI
INSTITUTE OBSCHIEI FIZIKI RAN IM.
PROKHOROVA A.M., Moscow (RU)].

(72) Изобретатели; и

(75) Изобретатели/Заявители (только для (US): ДИА-
НОВ Евгений Михайлович [RU/RU]; 117071
Москва, Ленинский пр., д. 13, кв. 139 (RU) [IVAN,
Moscow (RU)]. БУФЕТОВ Игорь Алексеевич
[RU/RU]; 141400 Московская обл., Химки, ул.
Молодёжная, д. 32, кв. 23 (RU) [BUFETOV, Igor
Alexeevich, Khimki (RU)]. ФРОЛОВ Артём
Алексеевич [RU/RU]; 1141077 Московская обл.,
Королев, ул. Сакко и Ванцетти, д. 32а, кв. 35 (RU)
[FROLOV, Artem Alexeevich, Korolev (RU)].

(74) Агент: ЕГОРОВА Галина Борисовна, МИЦ
Александр Владимирович, ООО «Юриди-
ческая фирма ГОРОДИССКИЙ И ПАРТНЁ-
РЫ»; 129010 Москва, ул. Б.Спаская, д. 25,
строение 3 (RU) [EGOROVA, Galina Borisovna,
MITS, Alexander Vladimirovich, «GORODIS-
SKY & PARTNERS LAW FIRM» Ltd., Moscow
(RU)].

(81) Указанные государства (национально): AE, AG,
AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ,
CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ,
EE, EC, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID,
IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR,
LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,
MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD,
SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Указанные государства (регионально): ARIPO па-
тент (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), евразийский патент (AM, AZ, BY,
KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), европейский патент
(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,
GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR),
патент OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

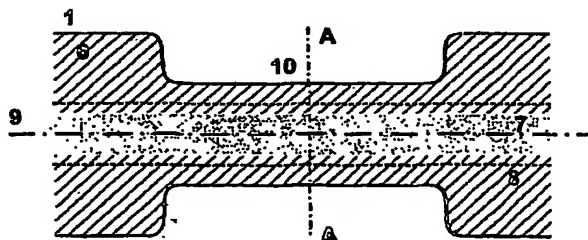
Опубликована

С отчётом о международной поиске.

В отношении двухбуквенных кодов, кодов языков и дру-
гих сокращений см. «Пояснения к кодам и сокращениям»,
публикуемые в начале каждого очередного выпуска Бюл-
летеня РСТ.

(54) Title: DEVICE FOR PROTECTING FIBRE LINES AGAINST DESTRUCTION BY LASER RADIATION

(54) Название изобретения: УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВОЛОКОННЫХ ЛИНИЙ ОТ РАЗРУШЕНИЯ ПОД
ДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



(57) Abstract: The invention relates to laser engineering and fibre optics. The inventive device for protecting fibre lines against the destruction thereof by laser radiation is embodied in the form of the section of a light-guide which comprises the cladding (6) and the core (7) thereof. The position (8) indicates dashed lines which show the position of the field of light-guide mode. The distance between said dashed lines is equal to the diameter (D) of the field of light-guide mode. The position (10) indicates the section of the light-guide having the reduced diameter of a reflecting cladding. Said device operates as follows: a pressure of 10^4 atm. is produced by a high temperature in the core (7) during the propagation of an optical discharge wave. The value of 10^4 is close to the destruction limit of the light-guide material and to the stop of the optical discharge wave. For this reason, the fibre lines are provided with at least one section of the light-guide which has a reduced thickness quartz cladding and undeformed core.

[Продолжение на след. странице]



WO 2004/008665 A1



(57) Реферат: Изобретение относится к области лазерной техники и волоконной оптики. Устройство для защиты волоконной линии от разрушения под действием лазерного излучения представляет собой отрезок световода, согласно Фиг.6, где позицией 6 обозначена оболочка световода, позицией 7 обозначена сердцевина световода, позицией 8 обозначены пунктирные линии, показывающие положение поля моды в световоде. Расстояние между ними равно диаметру поля моды лазерного излучения в световоде (D). Позицией 10 обозначается участок волоконного световода с уменьшенным диаметром отражающей оболочки. Устройство функционирует следующим образом, при распространении волны оптического разряда по световоду, в области сердцевины поз.7 из-за высокой температуры возникают давления порядка 10^4 атмосфер. Эта величина близка к пределу разрушения материала световода и остановке волны оптического разряда, таким образом, в волоконных линиях устанавливают, по меньшей мере, один отрезок световода с уменьшенной толщиной кварцевой оболочки, при этом совершенно не деформируя сердцевину поз.7.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВОЛОКОННЫХ ЛИНИЙ ОТ РАЗРУШЕНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Настоящее изобретение относится к области лазерной
5 техники и волоконной оптики и промышленно применимо в
системах волоконно-оптической связи, в лазерно-волоконных
устройствах для обработки материалов, а также в медицине и
других областях, где используется передача по волоконным
световодам оптического излучения мощностью порядка одного
10 ватта и выше.

В настоящее время происходит процесс резкого
увеличения скорости передачи информации в системах
волоконно-оптической связи.

Увеличение скорости передачи информации по волоконным
15 световодам делает необходимым передачу большого количества
отдельных каналов по одному световоду, используя метод
спектрального уплотнения каналов (в иностранной литературе
данный метод обозначается как WDM-wavelength division
multiplexing). Кроме того, становится необходимым
20 применение оптических усилителей в волоконных линиях связи.

Возрастание числа передаваемых каналов по одному
световоду, применение оптических усилителей (как эрбиевых
волоконных усилителей с высокой выходной мощностью, так и
рамановских волоконных усилителей), введение в световод
25 излучения накачки оптических усилителей уже сейчас приводит
к возрастанию средней мощности оптического излучения в
световоде до уровня порядка одного ватта.

При таких уровнях мощности может иметь место явление
разрушения волоконных световодов под действием оптического
30 излучения. В зарубежной технической литературе данное
явление в световодах на основе кварцевого стекла (а именно,
такие световоды составляют основу современных волоконных
линий связи) обозначается как «catastrophic damage»

(катастрофическое разрушение) или «fuse effect» (эффект плавления, эффект бикфордова шнура). Действительно, разрушение световода под действием лазерного излучения напоминает горение огнепроводного шнура.

5 В рамках настоящего описания авторы будут ссылаться на это явление как на распространение дозвуковой (т.е. распространяющейся с дозвуковой скоростью) волны оптического разряда по световоду, что отражает физическую природу происходящих процессов, или, для краткости, как на
10 распространение волны оптического разряда.

Впервые сообщение о разрушении одномодовых световодов под действием оптического излучения было опубликовано в 1987 г. (см. Raman Kashyap, Self-propelled self-focusing damage in optical fibers, Proc. Conf. Lasers'87, Lake
15 Tahoe, Nevada, Dec. 7-11, 1987, pp. 859-866 (Самодвижущееся разрушение в оптических волоконных световодах, возникающее как результат самофокусировки)).

В данной работе фактически было продемонстрировано, что если по световоду распространяется лазерное излучение
20 мощностью порядка 1 ватта, то возможно возникновение волны оптического разряда, см. Фиг.1, где поз.1 обозначен световод, поз.2 - область свечения плазмы в волне оптического разряда, стрелка поз.3 показывает направление ввода лазерного излучения в световод, и стрелка поз.4
25 показывает направление движения волны оптического разряда по световоду. Хотя авторы данной работы трактовали это явление иначе. Внешне это выглядит как движение области яркого белого или голубоватого свечения (в виде маленькой «звездочки») по сердцевине световода, которое
30 распространяется навстречу лазерному излучению со скоростью порядка 1 м/с. Область яркого свечения представляет собой область низкотемпературной плазмы. Температура «звездочки» оценивалась по спектру ее свечения (см. D.P. Hand, P.St.J.

Russel, Solitary thermal shock waves and optical damage in optical fibers: the fiber fuse. Optics Letters, Vol.13, № 9, pp. 767-769, 1988 (Солитонные тепловые ударные волны и оптические повреждения в оптических волоконных световодах: эффект волоконного бикфордова (огнепроводного) шнура)) и оказалась порядка 5400°K.

Но этот процесс не возникает спонтанно при введении в световод указанной выше мощности. Для инициирования процесса необходимо при наличии в световоде излучения мощностью порядка ватта создать в этом световоде область повышенного поглощения лазерного излучения, например, путем нагрева участка световода до ~1000°С (в электрической дуге или с помощью горелки), нанесения на торец световода поглощающего лазерное излучение вещества, изгиба световода с достаточно малым радиусом. В частности, процесс распространения волны оптического разряда может быть инициирован при прикосновении выходного торца световода (торца, из которого выходит лазерное излучение) к поглощающей свет поверхности (в том числе к металлической).

Фактически при инициировании процесса в сердцевине световода образуется плотная плазма, которая, с одной стороны поглощает излучение, распространяющееся по световоду, а с другой стороны, за счет теплопроводности передает окружающим холодным слоям материала тепловую энергию. Нагреваемые таким образом области сердцевины, находящиеся в поле лазерного излучения, начинают в свою очередь поглощать излучение. В этом и заключается механизм распространения оптического разряда по сердцевине световода, который аналогичен механизму распространения фронта медленного химического горения в газах и твердых телах (Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. «Гидродинамика», Москва, Наука, 1986, (гл. XIV, §128, Медленное горение, стр. 662-670). Здесь слово «медленный» означает «распространяющийся

с дозвуковой скоростью».

После распространения волны разряда в сердцевине световода в большинстве случаев образуются полости (или пузыри) размерами порядка нескольких микрон, причем полости
5 могут формировать периодическую структуру вдоль сердцевины световода (см. Фиг.2). Формирование таких полостей полностью нарушает световедущие свойства волоконного световода.

Известен способ защиты волоконных линий связи от
10 полного разрушения при возникновении волны оптического разряда в световоде (см. D.P. Hand, T.A. Birks «Single-mode tapers as 'fibre fuse' damage circuit-breakers» (Одномодовые фоконы как сетевые предохранители от повреждений (световодов) из-за эффекта волоконного
15 бикфордова шнура), Electronics Letters, vol. 25, № 1, pp. 33-34, 1989).

Способ заключается в создании и использовании своеобразных предохранителей от распространения волны оптического разряда по волоконным световодам. Известно, что
20 процесс разрушения световода под действием излучения существенно зависит от интенсивности лазерного излучения в световоде. Для снижения интенсивности лазерного излучения хотя бы на некотором участке волоконной линии связи авторы предложили вводить в волоконную линию отрезок световода с
25 перетяжкой, см. Фиг.3, где поз.5 обозначена область перетяжки световода, поз.6 - отражающая оболочка световода, преимущественно кварцевая, заштрихована на Фиг.3, поз.7 обозначена сердцевина световода, поз.8 - пунктирная линия, показывающая границы поля моды лазерного излучения в
30 световоде и его изменение с изменением диаметра сердцевины, поз.9 обозначена осевая линия световода. Как можно видеть из Фиг.3, отрезок световода с перетяжкой является отрезком световода на некотором участке которого диаметр поперечного

сечения световода имеет меньшую величину, причем пропорционально уменьшены и все другие размеры, описывающие структуру поперечного сечения световода, например, диаметр сердцевины световода. Перетяжку на Фиг.3 можно
5 рассматривать как совокупность двух последовательно соединенных фоконов. При прохождении света через область перетяжки изменяется (увеличивается) диаметр поля моды в световоде, что приводит к снижению интенсивности излучения и, при благоприятных обстоятельствах, к остановке процесса
10 распространения оптического разряда. Под диаметром поля моды, часто обозначаемую как MFD-mode field diameter, в световоде подразумевается обычно используемая в волоконной оптике величина, характеризующая поперечный размер пространственной области, занятой полем излучения в
15 одномодовом световоде, как она определяется, например, в книге G. Reiser. Optical Fiber Communications. (Third edition) McGraw Hill, pp. 63-64, 2000 and referencies in it.

Как можно видеть на графике Фиг.5, где представлена
20 зависимость, полученная экспериментально, путем измерения зависимости минимально необходимой мощности лазерного излучения в сердцевине световода для поддержания распространения волны оптического разряда для световодов различных типов: для германатных (т.е. сердцевина которых
25 содержит в основном SiO_2 и GeO_2) и фосфорного световода (т.е. сердцевина которого содержит в основном SiO_2 и P_2O_5). Цифры у экспериментальных точек указывают тип световода: 1- фосфоросиликатный световод, 2-7 - германосиликатные световоды. При увеличении диаметра поля моды в световоде
30 пороговое значение мощности для поддержания распространения оптического разряда возрастает. На этом основано действие ближайшего аналога.

В результате повреждается не вся волоконная линия, а

только отрезок между точкой инициирования и точкой остановки волны разряда. Авторы подчеркивают, что данный метод, реализованный в устройстве, применим только для одномодовых световодов, так как только в таких световодах
5 снижается интенсивность излучения при включении в линию перетяжки. Таким образом, с помощью описанного метода осуществляется остановка нежелательных процессов, и защищается от разрушения та часть линии связи, которая лежит между указанным отрезком волокна и источником
10 лазерного излучения.

Основными недостатками данного устройства для защиты волоконных линий связи являются:

а) в предложенном устройстве имеет место изменение параметров сердцевинны световода, что может привести к
15 дополнительным потерям и искажению полезного сигнала, например, из-за частичного его отражения;

б) при увеличении мощности интенсивность излучения в сердцевине световода возрастает, в том числе и в области перетяжки, что приведет к прохождению волны оптического
20 разряда через область перетяжки без остановки. Таким образом, при увеличении мощности излучения устройство теряет свою эффективность.

К недостаткам данного устройства также относится технологическая сложность его изготовления, заключающаяся в
25 необходимости плавления световода и прецизионного его растяжения.

В рамках указанного описания авторы вводят ряд определений, касающихся параметров оптического волокна для однозначного понимания существа заявленного технического
30 решения. Авторы вводят понятие параметра d поперечного сечения световода. Этот параметр d поперечного сечения рассматриваемого отрезка световода авторы определяют как диаметр оболочки из плавленого кварца световода в

рассматриваемом сечении, если световод обладает цилиндрической симметрией относительно оси, и определим параметр d как удвоенное минимальное расстояние от геометрического центра сечения сердцевины световода до
5 границы кварцевой оболочки, если форма световода не обладает цилиндрической симметрией (в случае цилиндрического световода определение этого параметра совпадает с определением d , данным выше как диаметра оболочки световода).

В соответствии с вышеизложенным, задачей настоящего
10 изобретения является обеспечение устройства для защиты волоконных линий от разрушения волной оптического разряда, распространяющегося по световоду под действием лазерного излучения, которое при увеличении мощности лазерного излучения в световоде сохраняло бы свою эффективность, не
15 внося при этом дополнительных оптических потерь в волоконную линию связи.

Указанный результат достигается за счет обеспечения устройства для защиты волоконной линии от разрушения под действием лазерного излучения, содержащего отрезок
20 волоконного световода, сердцевина которого имеет неизменный диаметр по всей длине указанного отрезка, а оболочка отрезка волоконного световода, по меньшей мере, на одном участке длиной $L \geq 10 \cdot D$ указанного отрезка световода имеет параметр поперечного сечения, находящийся в диапазоне
25 $D < d \leq \min(4D, 40 \text{ мкм})$, где D - диаметр поля моды.

При этом оболочка световода выполнена из стекла на основе плавленного кварца.

Кроме того, указанный отрезок световода сформирован непосредственно в защищаемой волоконной линии.

30 При этом указанный отрезок волоконного световода дополнительно вводится в состав защищаемой волоконной линии, например, с помощью сварки или соединений с помощью

оптических разъемов.

Кроме того, указанный отрезок волоконного световода может быть выполнен цилиндрическим, сердцевина которого имеет неизменный диаметр по всей длине указанного отрезка, а диаметр оболочки отрезка волоконного световода, по меньшей мере, на одном участке длиной $L \geq 10 \cdot D$ указанного отрезка световода находится в диапазоне $D < d \leq \min(4D, 40 \text{ мкм})$, где D - диаметр поля моды.

При этом указанный отрезок световода цилиндрической формы может быть сформирован непосредственно в защищаемой волоконной линии, и может дополнительно вводиться в состав защищаемой волоконной линии, например, с помощью сварки или соединений с помощью оптических разъемов.

В указанном устройстве реализуется совершенно другой физический механизм остановки распространения волны оптического разряда, а именно за счет снижения коэффициента поглощения лазерного излучения в плазме оптического разряда, распространяющегося по сердцевине световода, при снижении плотности этой плазмы.

Авторами было обнаружено явление деформации и даже полного разрушения кварцевой оболочки волоконного световода под действием механического и теплового воздействия плазмы оптического разряда, распространяющегося по световоду под действием лазерного излучения.

При нагреве вещества сердцевины в волне оптического разряда до $\sim 5000\text{K}$ при сохранении неизменным объема вещества давление в области плазмы достигает $\sim 10^4$ атм.

На поверхности кварцевой оболочки стандартного световода диаметром 125 мкм температура повышается лишь на $200\div 300\text{K}$ после прохождения оптического разряда по сердцевине. Поверхность световода при этом находится при давлении 1 атм. Но, как известно из экспериментов,

механическая прочность световодов на основе кварцевого стекла достаточно высока и не допускает разрушения оболочки световода при таких условиях, что в свою очередь создает условия для распространения волны оптического разряда по световоду.

Если же на некотором участке световода удалить часть кварцевой оболочки (например, путем локального уменьшения ее диаметра), так чтобы оставшаяся ее часть прогревалась плазмой волны оптического разряда до температуры, при которой под действием избыточного давления, создаваемого плазмой, стала возможна деформация (расширение, даже вплоть до полного механического разрушения) оболочки световода, приводящая к снижению плотности плазмы и, как следствие, к уменьшению поглощения в ней лазерного излучения и соответствующему снижению энерговыделения, то распространение волны оптического разряда прекратится.

Причем, чем выше мощность лазерного излучения, тем выше давление и температура в плазме оптического разряда и тем быстрее произойдет разрушение световода с остановкой волны оптического разряда. Таким образом, при повышении мощности лазерного излучения надежность предлагаемого устройства только возрастает (в отличие от ближайшего аналога). При уменьшении диаметра кварцевой оболочки сердцевина световода не изменяется, что обеспечивает малое возмущение параметров волноводного канала, опять же в отличие от ближайшего аналога.

Размеры участка световода с уменьшенным диаметром оболочки из кварцевого стекла задаются из условия необходимой чувствительности устройства и максимально допустимой величины вносимых искажений в волноводные свойства световода.

Авторами были выполнены несколько серий экспериментов для определения возможности остановки распространения волны

разряда по световоду. Эксперименты проводились следующим образом. Участок световода со стандартным диаметром оболочки из кварцевого стекла 125 мкм подвергался травлению в растворе плавиковой кислоты. В результате травления диаметр оболочки уменьшался, причем его конечное значение регулировалось временем травления. После этого в световод с одной стороны вводилось излучение непрерывного волоконного лазера волн различной мощности. У другого конца световода инициировалась волна оптического разряда, которая распространялась по световоду навстречу лазерному излучению и проходила через участок с травленной кварцевой оболочкой. В различных экспериментах использовались световоды с различными параметрами сердцевины, с различными значениями диаметра кварцевой оболочки в области травления и волоконные лазеры с различными длинами волн излучения (из ряда 1.06, 1.24 и 1.48 мкм). В каждом эксперименте волна оптического разряда или проходила через участок с уменьшенным диаметром внешней оболочки, или процесс распространения прерывался (см. Фиг.8 и Фиг.9). На Фиг.8 представлена фотография сработавшего устройства для защиты волоконных линий связи, реализующего описанный способ, где поз.11 обозначены пузыри или пустоты, образующиеся в области сердцевины световода после прохождения волны оптического разряда. Здесь они имеют форму, отличную от наблюдаемой на Фиг.2. Поз.12 обозначена область разрушения кварцевой оболочки световода под действием давления плазмы в волне медленного оптического разряда. Масштаб указанной фотографии следующий: высота Фиг.8 составляет 65 мкм, ширина - 250 мкм. Лазерное излучение распространялось слева направо.

На Фиг.9 изображена фотография устройства для защиты волоконных световодов в оптических линиях связи от разрушения под действием лазерного излучения согласно

изобретению, где а — вид устройства до возбуждения волны
оптического разряда в световоде, b — вид устройства после
срабатывания — после остановки волны оптического разряда.
Область остановки обведена кружком. Световод при
5 срабатывании не разрушился, в отличие от представленного на
Фиг.8. Масштаб изображения на Фиг.9 а и b: каждое деление
шкалы на Фиг.9, b соответствует 0,1 мм, на Фиг.9, c —
увеличенное изображение области, приблизительно
обозначенной окружностью на Фиг.9, b. Масштаб: полная
10 ширина кадра соответствует 1 мм. Лазерное излучение
распространялось справа налево.

Несмотря на большое количество параметров,
изменяющихся от опыта к опыту (концентрации различных
примесей в сердцевине, диаметр сердцевины, разность
15 показателей преломления между сердцевиной и оболочкой,
длина волны излучения, диаметр оболочки световода в области
травления, мощность излучения, введенного в световод)
полученные результаты показали, что процесс остановки волны
оптического разряда определяется диаметром поля моды
20 излучения в световоде и диаметром оболочки световода в той
области, где он уменьшен с помощью травления.

А именно, выполненные авторами эксперименты показали,
что остановка волны оптического разряда при ее
распространении по световоду с уменьшенным диаметром
25 оболочки (определим этот диаметр как параметр d поперечного
сечения рассматриваемого отрезка световода) происходит в
том случае, если параметр d оболочки световода не превышает
наименьшей из величин $(4D)$ и (40 мкм) , т.е. если
 $d \leq \min(4D, 40 \text{ мкм})$, где D — диаметр поля моды в
30 одномодовом волоконном световоде, по которому
распространяется лазерное излучение (до уменьшения размеров
оболочки). (В уровне техники по волоконной оптике данная

величина часто обозначается как MFD-mode field diameter). С другой стороны, для ограничения различного рода искажений, которые может вносить такое сужение в канал передачи излучения, наименьшее значение параметра d должно быть
5 больше D (см. Фиг.4).

Кроме того, те же эксперименты показывают (см., например, Фиг.9), что для остановки процесса распространения волны оптического разряда необходимо, чтобы длина участка световода L с уменьшенным значением параметра
10 d была не менее $10 \cdot D$, т.е. $L \geq 10 \cdot D$.

Для остановки волны оптического разряда можно использовать и другие формы поперечного сечения (отличные от круговой) световода с уменьшенными размерами оболочки. В таком случае параметр d определяется как удвоенное
15 минимальное расстояние от геометрического центра сечения сердцевины световода до границы кварцевой оболочки (в случае цилиндрического световода определение этого параметра совпадает с определением d , данным выше как диаметра оболочки световода в области сужения). Но
20 поскольку изготовление аксиально-симметричных (или почти аксиально-симметричных) волоконных элементов значительно проще по технологии, то в качестве примеров рассматриваются только такие конструкции.

Таким образом, предлагаемое устройство для защиты
25 волоконных световодов от разрушения волной оптического разряда представляет собой отрезок волоконного световода, на некотором участке которого длиной L уменьшен параметр d световода до величин, указанных на Фиг.4 как заштрихованная область. При этом сердцевина световода остается практически
30 неизменной, а вносимые изменения в волноводные свойства волоконного световода минимальными.

В итоге защита волоконной линии достигается тем, что в

ней размещают, по меньшей мере, один отрезок световода с измененной формой поперечного сечения, или изменяют форму поперечного сечения некоторого участка световода в защищаемой линии таким образом, чтобы

5 а) диаметр сердцевины световода оставался неизменным, и

б) параметр d световода в области измененного поперечного сечения составлял $d \leq \min(4D, 40 \text{ мкм})$ при длине такой области $L \geq 10 \cdot D$.

10 Изобретение поясняется на примере предпочтительного варианта его осуществления со ссылками на сопроводительные чертежи, при этом одинаковые элементы на фигурах обозначены одними и теми же позициями.

На чертежах представлено следующее:

15 на Фиг.1 - схема распространения волны оптического разряда по световоду согласно известному уровню техники;

на Фиг.2 - фотография периодической структуры пузырей в сердцевине световода (световод LEAF, Corning), образованной под действием излучения Nd:YAG лазера с длиной волны 1,06 мкм и мощностью 4,2 Вт. Излучение распространялось слева направо. Масштаб: каждое деление шкалы - 10 мкм;

20

на Фиг.3 - схема, иллюстрирующая реализацию способа защиты световода от разрушения под действием лазерного излучения согласно известному уровню техники;

25

на Фиг.4. - графики, иллюстрирующие значения диаметра оболочки d из стекла на основе плавленого кварца, которые обеспечивают функционирование защитных элементов согласно изобретению в зависимости от диаметра поля моды световода (заштрихованная область);

30

на Фиг.5 - зависимость, полученная экспериментально, путем измерения зависимости минимально необходимой мощности

лазерного излучения в сердцевине световода для поддержания распространения волны оптического разряда для световодов различных типов: для германатных (т.е. сердцевина которых содержит в основном SiO_2 и GeO_2) и фосфорного световода;

5 на Фиг.6 - схема, иллюстрирующая предлагаемое устройство для защиты световода от разрушения под действием лазерного излучения согласно настоящему изобретению;

на Фиг.7 - поперечное сечение предлагаемого устройства по линии А-А (см. Фиг.6);

10 на Фиг.8 - фотография сработавшего устройства для защиты волоконных линий связи, реализующего предлагаемый способ, соответствует 65 мкм, ширина - 250 мкм. Лазерное излучение распространялось слева направо;

на Фиг.9 - фотография устройства для защиты волоконных световодов в оптических линиях связи от разрушения под действием лазерного излучения согласно изобретению, где а - вид устройства до возбуждения волны оптического разряда в световоде, б - вид устройства после срабатывания - после остановки волны оптического разряда, с - увеличенное изображение области, приблизительно обозначенной 15 окружностью на Фиг.9, позиции б.

При инициировании оптического разряда в световоде он движется навстречу лазерному излучению (см. Фиг.1), и при отсутствии препятствий на его пути разряд пройдет все 25 расстояние по световоду до источника излучения. После прохождения оптического разряда оптическое волокно теряет свои волноводные свойства из-за нарушения структуры сердцевины световода (см. Фиг.2).

На Фиг.6 представлен возможный вариант схемы 30 устройства для защиты световода от разрушения под действием лазерного излучения согласно настоящему изобретению. Устройство для защиты световода представляет собой отрезок световода согласно Фиг.6, где позицией 7 обозначена

сердцевина световода, позицией 6 - оболочка световода, позицией 8 - пунктирные линии, показывающие положение поля моды в световоде. Расстояние между ними равно диаметру поля моды лазерного излучения в световоде (D). Позицией 10
5 обозначается участок волоконного световода с уменьшенным диаметром отражающей оболочки. Сечение по линии А-А показано на Фиг.7.

Устройство включается, например, с помощью сварки, в состав защищаемой волоконной линии и функционирует
10 следующим образом. При распространении волны оптического разряда по световоду, как описано выше, в области сердцевин поз.7 из-за высокой температуры возникают давления порядка 10^4 атмосфер. Эта величина близка к пределу разрушения материала световода, нагретого из-за
15 теплопроводности и излучения из области плазмы до температур в несколько сот градусов, поэтому при достаточно тонкой оболочке световода такое давление приводит к разрушению световода, падению давления в области сердцевин, резкому снижению плотности поглощающей лазерное
20 излучение плазмы, соответствующему снижению поглощения излучения и, как следствие, остановке волны оптического разряда.

Таким образом, в волоконных линиях устанавливают, по меньшей мере, один отрезок световода с уменьшенной толщиной
25 кварцевой оболочки поз.6, при этом совершенно не деформируя сердцевину поз.7 согласно Фиг.6. Данная операция, с одной стороны, не вносит существенных искажений в канал распространения сигнала (сердцевина не деформируется), а с другой - способ изготовления таких устройств предохранения
30 прост: можно простым химическим травлением уменьшить диаметр оболочки световода.

Реализованный вариант устройства для защиты волоконных световодов от разрушения под действием лазерного излучения

представлен на фотографии Фиг.9. Устройство представляет собой отрезок волоконного световода с диаметром поля моды 8,9 мкм, внешний диаметр которого на некотором отрезке (в данном случае длиной около 1 мм) уменьшен путем травления этого отрезка в растворе кислоты HF. Лазерное излучение распространялось справа налево. На Фиг.9, позиция а, показано устройство до момента срабатывания. Излучение мощностью до 5 Вт проходило по нему беспрепятственно. На Фиг.9, позиция б, представлен вид того же устройства после того, как вне его была инициирована волна оптического разряда, которая распространялась слева направо по световоду. После того, как волна достигла точки световода с диаметром оболочки около 30 мкм, ее распространение прекратилось. Минимальный диаметр световода в устройстве на Фиг.9 составлял 20 мкм.

Слева от точки остановки (Фиг.9, позиция б, обозначена кружком) наблюдается тот же характер разрушения световода, как и световода с нормальным диаметром кварцевой оболочки - периодическая последовательность пустот в сердцевине световода. Незадолго до точки остановки размеры пустот увеличиваются, и процесс распространения оптического разряда прекращается. Причем остановка распространения разряда сопровождается или расширением участка световода, как на Фиг.9, позиции б, с, или разрушением световода в точке остановки (Фиг.8).

Устройство для защиты волоконных световодов может быть также выполнено путем формирования отрезка световода с уменьшенным диаметром кварцевой оболочки непосредственно на световоде волоконной линии, защиту которой необходимо осуществить, а не на специальном отрезке световода, который затем вваривается в защищаемую волоконную линию. В этом случае отпадает необходимость проводить дополнительную сварку световодов, что приводит к дополнительным потерям

излучения в линии, но подразумевает изготовление соответствующих сужений световодов фактически в полевых условиях, что имеет свои отрицательные стороны.

Для защиты протяженных телекоммуникационных линий
5 необходимо располагать такие защитные устройства периодически вдоль линии, чтобы в случае непредвиденного возникновения волны оптического разряда в телекоммуникационной сети был выведен из строя только один промежуток.

10 Предлагаемое устройство может использоваться в телекоммуникационных линиях связи, а конкретнее, для защиты световодов от разрушения под действием лазерного излучения. Кроме того, устройства согласно изобретения могут использоваться в процессах лазерной обработки материалов, в
15 лазерной хирургии и других медицинских лазерных установках для защиты излучающего лазера.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство для защиты волоконной линии от разрушения под действием лазерного излучения, содержащее отрезок
5 волоконного световода, сердцевина которого имеет неизменный диаметр по всей длине указанного отрезка, а оболочка отрезка волоконного световода, по меньшей мере, на одном участке длиной $L \geq 10 \cdot D$ указанного отрезка световода имеет параметр d поперечного сечения, находящийся в диапазоне
10 $D < d \leq \min(4D, 40 \text{ мкм})$, где D - диаметр поля моды.

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что оболочка световода выполнена из стекла на основе плавленого кварца.

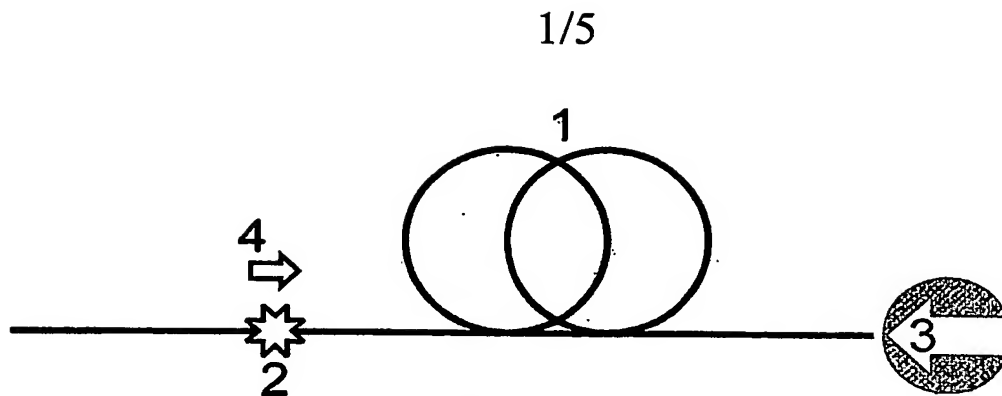
3. Устройство по п.1, отличающееся тем, что
15 указанный отрезок световода сформирован непосредственно в защищаемой волоконной линии.

4. Устройство по п.1, отличающееся тем, что указанный отрезок волоконного световода дополнительно вводится в состав защищаемой волоконной линии, например, с
20 помощью сварки или соединений с помощью оптических разъемов.

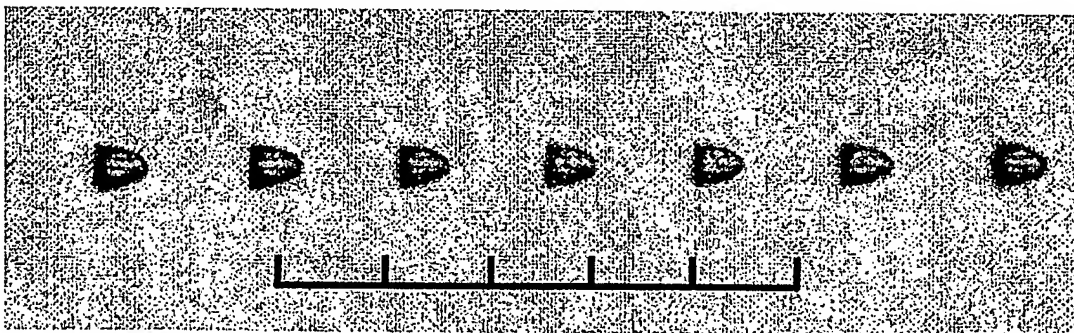
5. Устройство по п.1, отличающееся тем, что указанный отрезок волоконного световода выполнен цилиндрическим, сердцевина которого имеет неизменный
25 диаметр по всей длине указанного отрезка, а диаметр d оболочки отрезка волоконного световода, по меньшей мере, на одном участке длиной $L \geq 10 \cdot D$ указанного отрезка световода находится в диапазоне $D < d \leq \min(4D, 40 \text{ мкм})$, где D - диаметр поля моды.

30 6. Устройство по п.5, отличающееся тем, что указанный отрезок световода сформирован непосредственно в защищаемой волоконной линии.

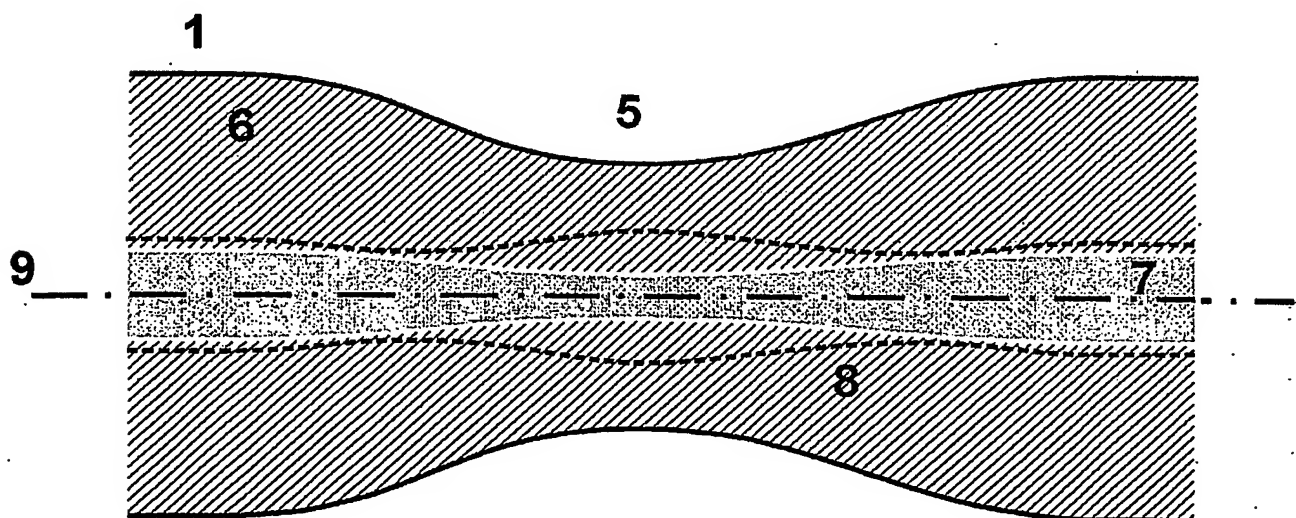
7. Устройство по п. 5, отличающееся тем, что указанный отрезок волоконного световода дополнительно вводится в состав защищаемой волоконной линии, например, с помощью сварки или соединений с помощью оптических разъемов.



ФИГ. 1

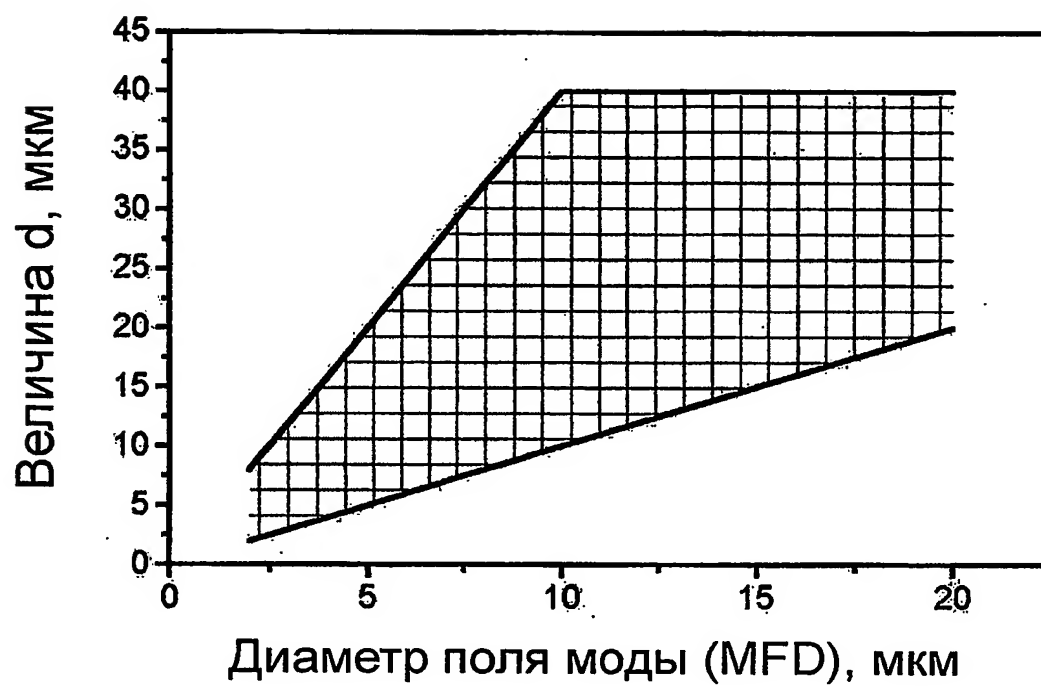


ФИГ. 2



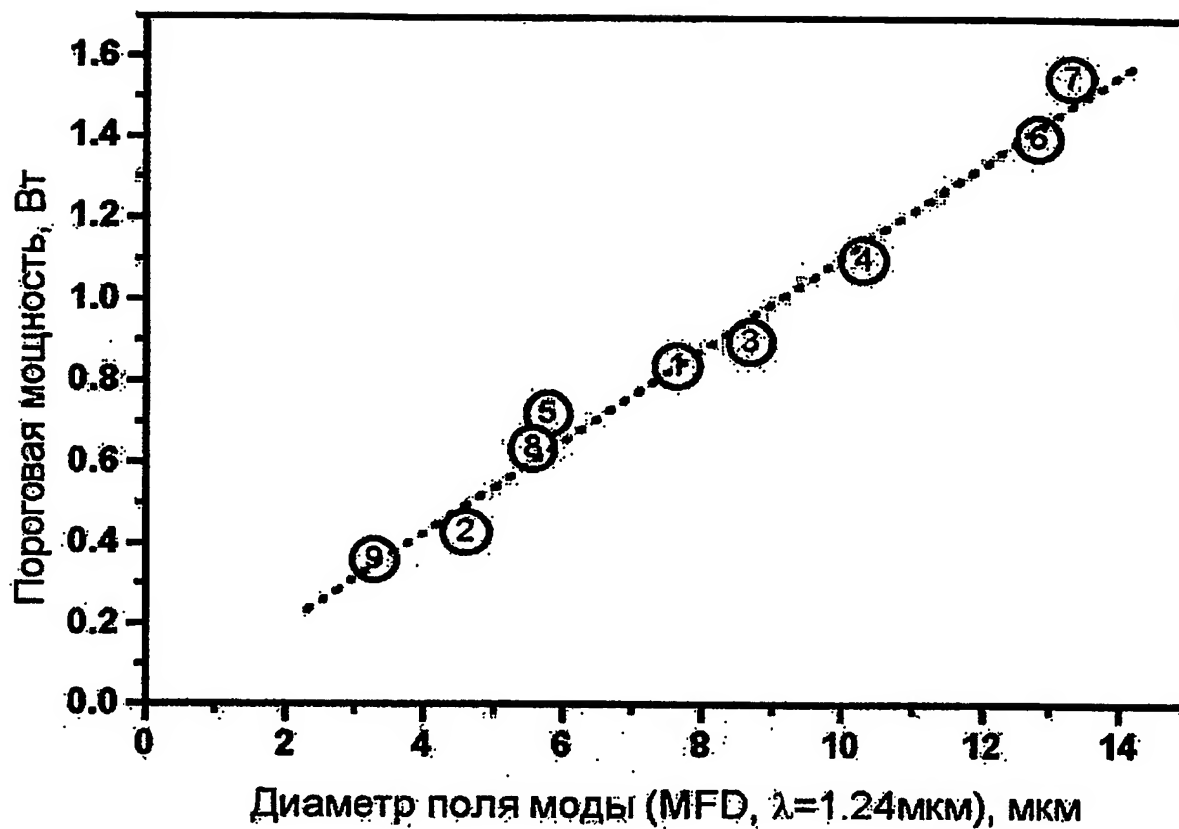
ФИГ. 3

2/5

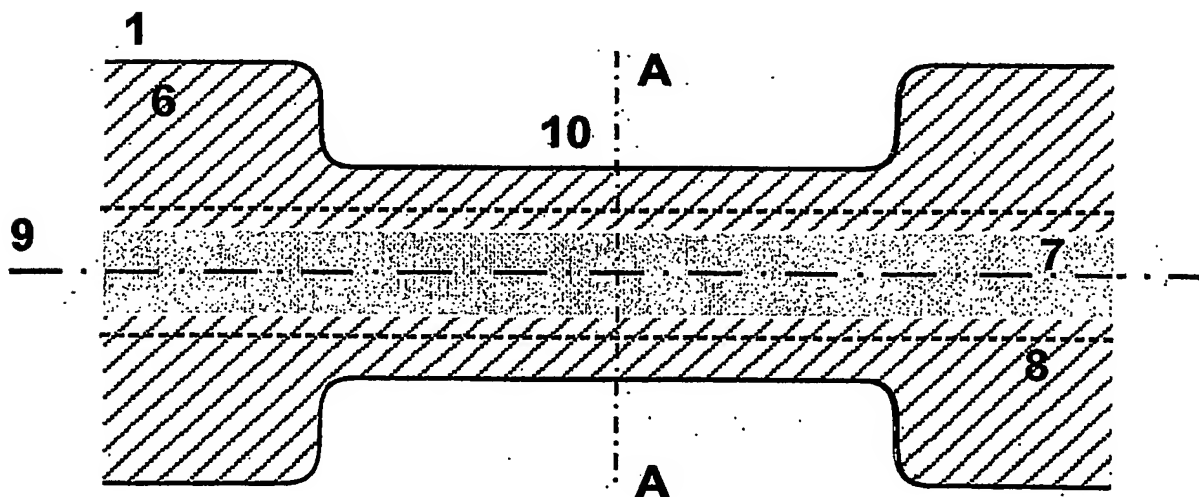


Фиг. 4

3/5

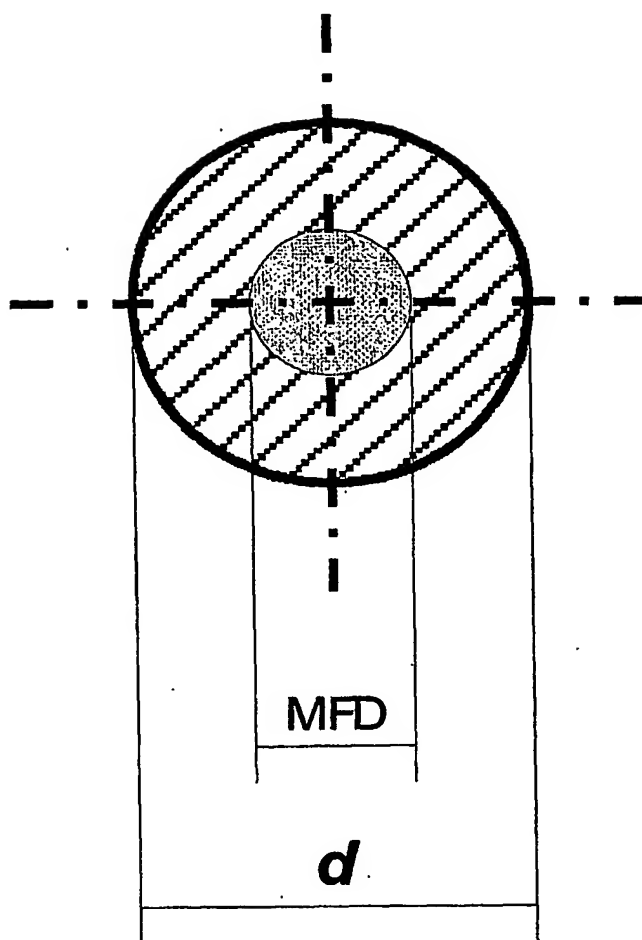


Фиг. 5

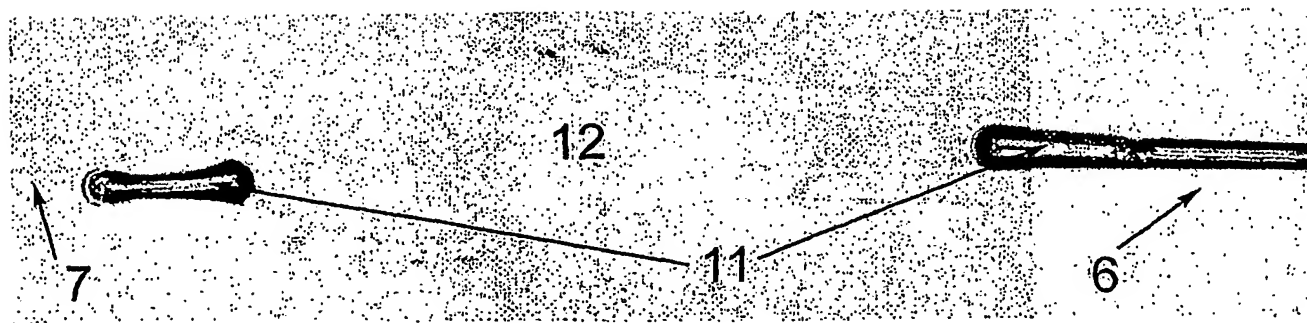


Фиг. 6

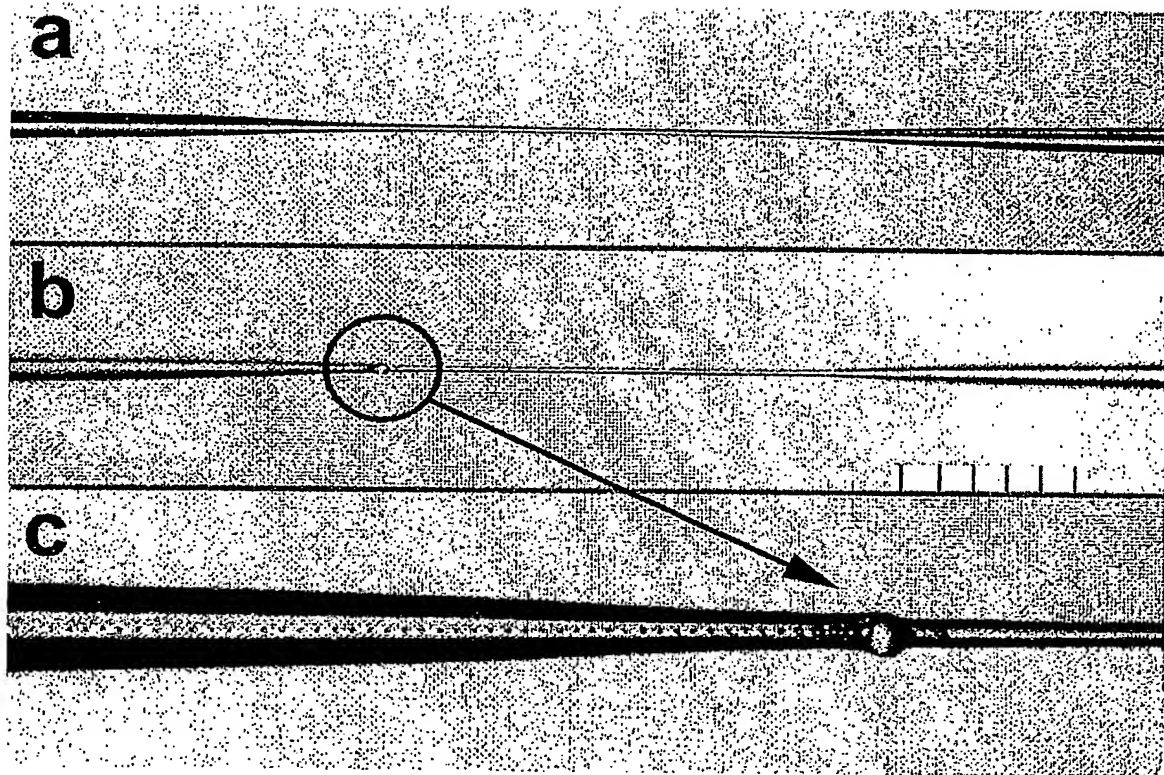
4/5



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/RU 02/00561

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B 10/12, G02B 6/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC 7

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) 7

H04B 10/00, 10/08, 10/12, 10/13, 10/135, G02B 6/00, 6/02, 6/20, 6/24, 6/42, H01S 3/063

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GB 2356262 A (HANNAH USHA KATHARINA SCHWEIZER - KASHYAP 79 HUMBER DOUCY LANE) 16.05.2001, the abstract, the claims	1-7
A	EP 1146669 A2 (BRITISH TELECOMMUNICATIONS PUBLIC LIMITED COMPANY) 17.10.2001, the abstract, the claims	1-7
A	US 5022734 A (BRITISH TELECOMMUNICATIONS PUBLIC LIMITED COMPANY) Jun. 11, 1991, the abstract	1-7
A	RU 2142184 C1 (ITALTEL S.P.A) 27.11.1999, columns 5, 7	1-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

Name and mailing address of the ISA/

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Международная заявка №
PCT/RU 02/00561

А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ:

H04B 10/12, G02B 6/00

Согласно международной патентной классификации (МПК-7)

В. ОБЛАСТИ ПОИСКА:

Проверенный минимум документации (система классификации и индексы) МПК-7:

H04B 10/00, 10/08, 10/12, 10/13, 10/135, G02B 6/00, 6/02, 6/20, 6/24, 6/42, H01S 3/063

Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки:

Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, поисковые термины):

С. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ:

Категория*	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A	GB 2356262 A (HANNAH USHA KATHARINA SCHWEIZER - KASHYAP 79 HUMBER DOUCY LANE) 16.05.2001, реферат, формула	1-7
A	EP 1146669 A2 (BRITISH TELECOMMUNICATIONS PUBLIC LIMITED COMPANY) 17.10.2001, реферат, формула	1-7
A	US 5022734 A (BRITISH TELECOMMUNICATIONS PUBLIC LIMITED COMPANY) Jun. 11, 1991, реферат	1-7
A	RU 2142184 C1 (ИТАЛТЕЛ С.П.А.) 27.11.1999, колонки 5,7	1-7

последующие документы указаны в продолжении графы С.

данные о патентах-аналогах указаны в приложении

<p>* Особые категории ссылочных документов:</p> <p>A документ, определяющий общий уровень техники</p> <p>E более ранний документ, но опубликованный на дату международной подачи или после нее</p> <p>O документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д.</p> <p>P документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета и т.д.</p>	<p>T более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и приведенный для понимания изобретения</p> <p>X документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну или изобретательский уровень</p> <p>Y документ, порочащий изобретательский уровень в сочетании с одним или несколькими документами той же категории</p> <p>& документ, являющийся патентом-аналогом</p>
---	--

Дата действительного завершения международного поиска: 26 марта 2003 (26.03.2003)

Дата отправки настоящего отчета о международном поиске: 03 апреля 2003 (03.04.2003)

Наименование и адрес Международного поискового органа
Федеральный институт промышленной собственности

Уполномоченное лицо:

РФ, 123995, Москва, Г-59, ГСП-5, Бережковская наб., 30,1 Факс: 243-3337, телетайп: 114818 ПОДАЧА

Г. Горюнова

Телефон № 240-25-91

Форма PCT/ISA/210 (второй лист)(июль 1998)